



Enseignement de la prothèse amovible partielle : intérêt de la conception fabrication assistée par ordinateur comme outil pédagogique

Tom Marruchi

► To cite this version:

Tom Marruchi. Enseignement de la prothèse amovible partielle : intérêt de la conception fabrication assistée par ordinateur comme outil pédagogique. Médecine humaine et pathologie. 2016. dumas-01360454

HAL Id: dumas-01360454

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01360454>

Submitted on 5 Sep 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ NICE-SOPHIA ANTIPOLIS
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE
24 Avenue des Diables Bleus, 06357 Nice Cedex 04

ENSEIGNEMENT DE LA PROTHESE AMOVIBLE PARTIELLE: INTERET DE LA CONCEPTION FABRICATION ASSISTEE PAR ORDINATEUR COMME OUTIL PEDAGOGIQUE

Année 2016

Thèse n°42571620

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant
la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nice
Le 8 juillet 2016 Par

Monsieur Tom MARRUCHI

Né(e) le 13 12 1990 à Nice
Pour obtenir le grade de :

DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE (Diplôme d'État)

Examineurs :

Madame le Professeur
Madame le Professeur
Madame le Docteur
Madame le Docteur

LUPI-PEGURIER Laurence
LASSAUZAY Claire
BRULAT Nathalie
CERETTI Léonor

Président du jury
Directrice
Assesseur
Assesseur

CORPS ENSEIGNANT

56^{ème} section : DEVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PREVENTION

Sous-section 01 : ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeur des Universités : Mme MULLER-BOLLA Michèle
 Maître de Conférences des Universités : Mme JOSEPH Clara
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme PIERRE Audrey

Sous-section 02 : ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Professeur des Universités : Mme MANIERE-EZVAN Armelle
 Maître de Conférences des Universités : M. FAVOT Pierre
 Assistante Associée-Praticien Associée : Mme OUEISS Arlette
 Assistant Hospitalier Universitaire : M. BUSSON Florian

Sous-section 03 : PREVENTION, EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE, ODONTOLOGIE LEGALE

Professeur des Universités : Mme LUPI-PEGURIER Laurence
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme SOSTHE Anne Laure
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme BORSA Leslie

57^{ème} section : SCIENCES BIOLOGIQUES, MEDECINE ET CHIRURGIE BUCCALE

Sous-section 01 : PARODONTOLOGIE

Maître de Conférences des Universités : M. CHARBIT Yves
 Maître de Conférences des Universités : Mme VINCENT-BUGNAS Séverine
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme LAMURE Julie
 Assistant Hospitalier Universitaire : M. RATHÉLOT Benjamin

Sous-section 02 : CHIRURGIE BUCCALE, PATHOLOGIE ET THERAPEUTIQUE, ANESTHESIE ET REANIMATION

Professeur des Universités Associées : Mme MERIGO Elisabetta
 Maître de Conférences des Universités : M. COCHAIS Patrice
 Maître de Conférences des Universités : M. SAVOLDELLI Charles
 Maître de Conférences des Universités : M. HARNET Jean-Claude
 Assistant Hospitalier Universitaire : M. PAUL Adrien

Sous-section 03 : SCIENCES BIOLOGIQUES

Professeur des Universités : Mme PRECHEUR SABLAYROLLES Isabelle
 Maître de Conférences des Universités : Mme RAYBAUD Hélène
 Maître de Conférences des Universités : Mme VOHA Christine

58^{ème} section : SCIENCES PHYSIQUES ET PHYSIOLOGIQUES ENDODONTIQUES ET PROTHETIQUES

Sous-section 01 : ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE

Professeur des Universités : Mme BERTRAND Marie-France
 Professeur des Universités : M. MEDIONI Etienne
 Professeur Emérite : M. ROCCA Jean-Paul
 Maître de Conférences des Universités : Mme BRULAT-BOUCHARD Nathalie
 Assistant Hospitalier Universitaire : M. MORKOWSKI-GEMMI Thomas
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme DUVERNEUIL Laura
 Assistant Hospitalier Universitaire : M. GANDJIZADEH GHOUGHANI Mir-Payam

Sous-section 02 : PROTHESES

Professeur des Universités : Mme LASSAUZAY Claire
 Maître de Conférences des Universités : M. ALLARD Yves
 Maître de Conférences des Universités : M. LAPLANCHE Olivier
 Maître de Conférences des Universités : Mme POUYSSEGUR-ROUGIER Valérie
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme CERETTI Léonor
 Assistant Hospitalier Universitaire : M. OUDIN GENDREL Antoine
 Assistant Hospitalier Universitaire : M. SABOT Jean-Guy
 Assistant Hospitalier Universitaire : M. SAMMUT Arnaud

Sous-section 03 : SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES

Professeur des Universités : M. BOLLA Marc
 Professeur des Universités : M. MAHLER Patrick
 Maître de Conférences des Universités : Mme EHRMANN Elodie
 Maître de Conférences des Universités : M. LEFORESTIER Eric
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme CANCEL Bénédicte

REMERCIEMENTS

A Madame le Professeur Laurence Lupi-Pégurier
Docteur en chirurgie dentaire
Docteur de l'université de Nice Sophia-Antipolis
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Responsable de la sous-section prévention, épidémiologie, économie de la santé,
odontologie légale

Chère Professeur Lupi, je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury de thèse.

Cela a toujours été un plaisir et une joie de travailler à vos côtés.

Votre bonne humeur, votre joie de vivre et votre gentillesse ne sont que quelques-unes de vos qualités.

J'ai appris énormément de choses en vous côtoyant, humainement et professionnellement.

Permettez-moi de vous faire part de mon amitié et du profond respect que j'ai à votre égard.

A Madame le Professeur Claire Lassauzay
Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur de l'Université d'Auvergne Clermont 1
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Responsable de la sous-section Prothèses

Chère Professeur Lassauzay, je vous remercie de m'avoir fait l'honneur d'accepter de diriger cette thèse.

J'ai eu la chance de pouvoir travailler à vos côtés au CHU et d'apprendre d'innombrables choses.

J'ai également eu le bonheur de pouvoir vous assister en travaux pratiques et une fois encore d'en ressortir grandi.

Je vous remercie pour votre patience, votre gentillesse, votre bonne humeur communicative et votre aide inestimable dans la réalisation de ce travail mais aussi tout au long de mes études.

Permettez-moi de vous faire part de la grande estime que j'ai pour vous en tant que personne et en tant que professeur.

A Madame le Docteur Nathalie Brulat
Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur de l'Université de Nice Sophia Antipolis
Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Chère Docteur Brulat, merci d'avoir accepté de siéger au sein de ce jury.
Merci pour votre enseignement, votre patience et les conseils que vous m'avez prodigués.
Je vous prie de bien vouloir trouver ici le témoignage de ma gratitude et de ma reconnaissance.

A Madame le Docteur Leonor CERETTI
Docteur en Chirurgie Dentaire
Assistant Hospitalier Universitaire

Chère Docteur Ceretti, merci d'avoir accepté de siéger au sein de ce jury.
Je vous suis très reconnaissant pour l'aide que vous avez pu m'apporter dans la réalisation de ce travail. Je vous remercie pour votre gentillesse, votre simplicité et votre bonne humeur quotidienne.
Je vous prie d'accepter mes amitiés et mes remerciements les plus sincères.

TABLES DES MATIERES

Introduction.....	9
I. Etat des lieux de l'enseignement en PAPIM : conventionnel et appuyé par de la CFAO	12
1. Introduction à la PAPIM	12
2. Le diagnostic	13
a. Enseignement théorique	13
b. Enseignement pratique.....	13
3. Eléments constitutifs de la PAPIM.....	18
a. Les logiciels pédagogiques.....	19
b. Les logiciels professionnels	23
4. Montages directeurs : réalisation du montage des dents prothétiques.....	26
5. Etude au paralléliseur, améloplasties sur les modèles d'étude et report sur le simulateur.....	28
6. Tracé et positionnement des éléments du châssis.....	32
7. Obtention des modèles de travail	38
8. Réalisation du châssis.....	39
II. Les différents systèmes de CFAO pour la PAPIM, critères de choix	43
1. Les systèmes de scanners	43
2. Les logiciels de CAO.....	47
3. La fabrication du châssis métallique	49
III. Conception du châssis : comparaison entre la méthode conventionnelle et la CFAO : tableau synthétique.	51
Conclusion	53
BIBLIOGRAPHIE.....	54

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Syllabus PAPIM UNSA. Tracés des indices maxillaires positifs (bleu) et négatifs (rouge).	14
Figure 2 : Syllabus PAPIM UNSA. Tracés des indices mandibulaires positifs (bleu) et négatifs (rouge)	14
Figure 3 : Syllabus PAPIM UNSA. Tracé des limites de la plaque base maxillaire des maquettes d'occlusion.	15
Figure 4 : Syllabus PAPIM UNSA. Maquette d'occlusion maxillaire.	15
Figure 5 : Montage des modèles de travail en articulateur (4).	17
Figure 6 : Mise en articulateur virtuel après numérisation des modèles individuels (4).	17
Figure 7 : Mise en évidence des contacts occlusaux sur l'articulateur virtuel (4).	18
Figure 8 : Réalisation d'un crochet en cire sur macro modèle.	19
Figure 9 : Metaciel® UFR Clermont. Ecran d'accueil sélection mode expert ou débutant.	20
Figure 10 : Metaciel® UFR Clermont (6). Guide de démarrage rapide.	20
Figure 11 : Metaciel® UFR Clermont (6). Modèles virtuels en occlusion.	21
Figure 12 : Metaciel® UFR Clermont (6) . QCM d'autoévaluation.	21
Figure 13 : Metaciel® UFR Clermont (6). Placement des appuis primaires. Bon placement (vert), mauvais placement (rouge), placement corrigé (jaune).	22
Figure 14 : Metaciel® UFR Clermont (6). Tracé du châssis terminé.	22
Figure 15 : DentalWings® d'Euromax®. La forme de préparation d'un taquet occlusal, créé par l'opérateur puis séparé de la dent.	23
Figure 16 : DentalWings® d'Euromax®. Taquet occlusal correspondant à la figure 15.	23
Figure 17 : DentalWings® d'Euromax®. En vert, un bras élastique de crochet dont on peut modifier les caractéristiques grâce aux options du logiciel. En violet, la cire virtuelle comble les contre dépouilles. En bleu le degré de contre dépouille (faible ici). La partie rétentive du crochet dans la zone de contre dépouille.	24
Figure 18 : DentalWings® d'Euromax®. Vue en coupe sagittale de la potence espacée des zones de contre dépouille par de la cire virtuelle.	24
Figure 19 : DentalWings® d'Euromax®. Un crochet répondant à tous les impératifs prothétiques.	24
Figure 20 : DentalWings® d'Euromax®. Séparation du crochet créé du modèle virtuel. Vision de l'intados du crochet.	25

Figure 21 : DentalWings® d'Euromax®. Vue en coupe sagittale. En violet, le modèle virtuel, en gris, la selle prothétique, en jaune, une dent prothétique.	25
Figure 22 : Syllabus PAPIM UNSA. Montage directeur mandibulaire.	26
Figure 23 : Syllabus PAPIM UNSA. Montage directeur maxillaire.	26
Figure 24 : Syllabus PAPIM UNSA. Montages directeurs en occlusion droite.....	26
Figure 25 : Syllabus PAPIM UNSA. Montages directeurs en occlusion gauche.....	27
Figure 26: DentalWings® d'Euromax®. Réalisation du montage directeur virtuel.	27
Figure 27: DentalWings® d'Euromax®. Montage directeur virtuel en occlusion.....	27
Figure 28 : Syllabus PAPIM UNSA. Un paralléliseur.....	29
Figure 29 : Préparation pour un taquet occlusal sur des modèles pédagogiques.....	29
Figure 30 Metaciel® UFR Clermont (6).Utilisation de l'exemple de l'œuf pour la visualisation des contre dépouilles qui varient en fonction de l'axe.	30
Figure 31 : DentalWings® d'Euromax®. Visualisation du degré de contre dépouille en fonction de l'axe d'insertion choisi. Contre dépouille croissante du bleu vers le rouge. Le disque rouge matérialise le plan perpendiculaire à l'axe d'insertion et donc les contre dépouilles associées à cet axe.	31
Figure 32 : DentalWings® d'Euromax®. Contre dépouilles comblées par de la cire virtuelle.....	31
Figure 33 : DentalWings® d'Euromax®. Vue en coupe sagittale de la potence espacée des zones de contre dépouille par de la cire virtuelle.	31
Figure 34 : DentalWings® d'Euromax®. Vue de l'améloplastie et réalisation du crochet.	32
Figure 35 : Syllabus PAPIM UNSA. Tracé de châssis sur le modèle de travail maxillaire.	32
Figure 36 : Syllabus PAPIM UNSA. Préforme en cire sur modèle de travail maxillaire. ...	33
Figure 37 : Logiciel Digitrace®. Menu initial.....	33
Figure 38: Logiciel Digitrace®. Préparation de l'édentement du modèle maxillaire.	34
Figure 39: Syllabus PAPIM UNSA. Empreinte à la pâte à l'oxyde de zinc eugénol avec maquette d'empreinte.....	38
Figure 40 : Syllabus PAPIM UNSA. Empreinte pour modèle de travail en deux temps deux matériaux.	38
Figure 41 : DentalWings® d'Euromax®.Numérisation du modèle de travail.....	39
Figure 42 : Syllabus PAPIM UNSA. Mise en place de cire pour : la protection de l'anneau gingival (orange), comblements des interstices (bleu), zones de contre dépouille (vert).....	40

Figure 43: Syllabus PAPIM UNSA. Préformes en cire	40
Figure 44: Syllabus PAPIM UNSA. Châssis	40
Figure 45 : DentalWings® d'Euromax®. Contre dépouilles comblées par de la cire virtuelle.....	41
Figure 46: DentalWings® d'Euromax®. Visualisation du degré de contre dépouille en fonction de l'axe d'insertion choisi. Contre dépouille croissante du bleu vers le rouge. Le disque rouge matérialise le plan perpendiculaire à l'axe d'insertion et donc les contre dépouilles associées à cet axe.	41
Figure 47 : DentalWings® d'Euromax®. Modification des caractéristiques des éléments du châssis.	41
Figure 48 : DentalWings® d'Euromax®. Extrados du châssis virtuel.....	42
Figure 49 : DentalWings® d'Euromax®. Intrados du châssis virtuel.....	42
Figure 50 : DentalWings® d'Euromax®. Chassis virtuel sur modèle.....	42
Figure 51: DentalWings® d'Euromax®. Sélection de la zone à scanner.....	43
Figure 52: DentalWings® d'Euromax®. Obtention du modèle virtuel.	43
Figure 53 : DentalWings® d'Euromax®. Découpe du modèle virtuel.....	44
Figure 54: DentalWings® d'Euromax®.Obtention du modèle virtuel final.	44
Figure 55 : Les deux types de fabrication assistée par ordinateur (16).	50
Figure 56 : Châssis en résine obtenus par stéréolithographie (16).....	50

Introduction

L'enseignement fait intervenir deux protagonistes : l'enseignant et l'élève. L'objectif de l'enseignement est la transmission de connaissance. Pour qu'elle soit optimale, il faut prendre en compte les différents styles d'apprentissage rencontrés chez les élèves. Selon Kolb et al en 1984, il existe quatre catégories d'apprenant (1) :

- l'accommodateur ou le manipulateur : l'individu de cette catégorie apprend principalement par manipulation, en exécutant des tâches : il aime être impliqué dans la planification et la réalisation d'activités ; il a tendance à résoudre les problèmes par essais/erreurs plutôt que par la logique ; il a tendance à se fier aux réflexions des autres plutôt que sur sa propre analyse ; il accepte de prendre des risques. Les activités qui l'intéressent sont les jeux, la participation à des activités et à des exercices en petits groupes, l'échange de commentaires.
- le divergent ou observateur : cet individu possède un sens aigu de l'observation : il est habile à percevoir un objet ou un problème sous différents angles ; il excelle bien dans les activités novatrices telles que les séances de remue-méninges ; il a une imagination fertile et des intérêts variés, il s'intéresse aux personnes et accorde beaucoup d'importance aux sentiments. Les types d'activités qui l'intéressent sont l'apprentissage par de nouvelles expériences, échanger et discuter avec les pairs, suivre des cours particuliers, observer, synthétiser et tirer des conclusions.
- l'assimilateur ou conceptualisateur : Il est habile à réorganiser logiquement des informations disparates. Il a tendance à préférer jongler avec les idées et les théories plutôt qu'avec leur application pratique. Les types d'activité qui l'intéressent sont les cours théoriques, les examens objectifs, la lecture au sujet de différentes théories.
- convergent ou penseur-expérimentateur : Cet individu est habile à mettre en pratique des idées et des théories, à résoudre des problèmes et à prendre des décisions. Il préfère cependant résoudre des problèmes dont la solution est unique. Enfin, il a plus de facilité à exécuter des tâches techniques qu'à

s'impliquer dans les controverses interpersonnelles ou sociales. Les types d'activités qui l'intéressent sont le temps d'étude non dirigé, les études de cas, les projets et activités individuels autogérés.

Dans le cas d'une classe d'élèves, l'enseignement doit prendre en compte la multiplicité des styles d'apprentissage et donc proposer différentes méthodes d'enseignements. Il paraît difficile, voire impossible, de présenter toutes les méthodes pour chaque item à enseigner. Cependant, pour parvenir à une meilleure transmission des connaissances, l'utilisation de nouveaux supports de travail peut être envisagée.

L'enseignement en chirurgie dentaire fait intervenir une partie pratique soit le savoir-faire, une partie théorique soit le faire savoir et le connaître et une partie relationnelle soit le rapport au patient (2).

L'enseignement se déroule en deux temps : l'enseignement préclinique et l'enseignement clinique.

L'enseignement préclinique se concentre sur le savoir-faire, le faire savoir et le connaître (théorique et pratique) au moyen de trois méthodes d'enseignement : les cours magistraux (CM), les enseignements dirigés (ED) et les travaux pratiques (TP).

A l'UFR d'Odontologie de Nice, au début de la 2^{ème} année, des TP de gestuelle et pratique sont réalisés afin que l'étudiant se familiarise avec les différents matériaux qui interviennent dans la conception de la prothèse amovible partielle à infrastructure métallique (PAPIM), la prothèse amovible complète ou la prothèse conjointe. Les étudiants travaillent sur des modèles pédagogiques qui ne sont pas sur simulateur, c'est à dire non fixés sur des mannequins. Le but est de leur permettre de manipuler les modèles et d'améliorer leur perception des différents éléments dans l'espace. Des cours magistraux et des enseignements dirigés adaptés à leur niveau de connaissance sont proposés.

En 3^{ème} année, c'est par des CM et des ED que les bases théoriques de la prothèse amovible partielle sont enseignées. Des travaux pratiques reconstituent les différentes étapes de réalisation d'une PAPIM. Les étudiants travaillent alors sur des modèles cliniques sur simulateur ou mannequin pour recréer un patient fictif et ainsi apprendre les positions à adopter, les points d'appuis à privilégier et les positions du patient en

fonction des gestes à réaliser. C'est la dernière année avant le début de l'enseignement clinique et l'application des actes appris sur les patients.

Lors de l'enseignement clinique, les cours magistraux, ED et TP représentent une part moins importante en durée comparé à l'enseignement clinique (soit le rapport au patient) :

Au cours des 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} années l'étudiant est en stage hospitalier et met en application les bases théoriques et pratiques apprises lors des années précédentes avec pour objectif de réaliser la prise en charge thérapeutique d'un patient.

C'est en 3^{ème} année que commence l'enseignement la prothèse amovible partielle à infrastructure métallique (PAPIM). La méthode actuelle comporte des enseignements au moyen de photographies, cas cliniques, présentations projetées PowerPoint®, conférences, simulateurs. Des travaux pratiques reconstituent les différentes étapes de réalisation d'une PAPIM.

En plus de ces supports, des logiciels de conception et de fabrication assistées par ordinateur (CFAO) peuvent être désormais utilisés, ils offrent de nouvelles perspectives d'enseignement. Ils permettent de présenter sous un nouvel angle les étapes de réalisation d'une prothèse adjointe partielle et ainsi parvenir à une meilleure transmission de connaissances.

L'objectif de ce travail est de montrer l'apport des logiciels de CFAO dans l'enseignement de la prothèse amovible partielle (PAP).

I. Etat des lieux de l'enseignement en PAPIM : conventionnel et appuyé par de la CFAO

1. Introduction à la PAPIM

Les étudiants en Odontologie ont été sélectionnés par un concours uniquement basé sur des épreuves théoriques. Au début de leur cursus, les enseignements ont pour objectif de présenter aux étudiants leur future activité professionnelle.

En 2^{ème} année, les TP de gestuelle et pratique ont pour objectif de faire connaître aux étudiants différents matériaux : des matériaux d'empreinte (l'alginat, la pâte à l'oxyde de zinc eugénol), le plâtre, la cire, la résine acrylique auto ou photo polymérisable. Les étudiants réalisent des empreintes sur modèle pédagogique, des dents en cire, des maquettes d'occlusion, des portes empreintes individuels, des montages en articulateur. Les étudiants ont alors une base théorique minimale concernant les objectifs de la réhabilitation. L'objectif premier de cet enseignement est le développement de la dextérité manuelle et de la vision en 3D.

En 3^{ème} année, les objectifs de la PAPIM sont introduits, à savoir : le rétablissement de l'esthétique et de la fonction ainsi que la préservation et la pérennité des structures dentaires et péri-dentaires. Les bases théoriques sont enseignées au moyen de cours magistraux et d'enseignements dirigés. Les bases pratiques sont acquises au cours des travaux pratiques. L'étudiant entreprend toutes les étapes de la réalisation d'une PAPIM à partir d'un modèle pédagogique qui est issu d'un cas clinique.

Classiquement, l'enseignement de la PAPIM débute par des cours magistraux durant lesquels l'étudiant apprend à conduire un examen clinique complet. Il apprend aussi à connaître, durant les ED et cours théoriques, les éléments constitutifs du châssis métallique et la réalisation d'un tracé de châssis.

Parallèlement, lors des séances de travaux pratiques, il apprend à réaliser des empreintes d'étude et de travail, à couler des modèles, des maquettes d'occlusion, l'enregistrement des relations intermaxillaires (RIM), le transfert des RIM sur articulateur, le passage des modèles au paralléliseur pour déterminer les lignes guides et l'axe d'insertion de la future prothèse, le montage des dents prothétiques, la mise en place de préformes en cire.

L'enseignement se poursuit en 4^{ème} année par des cours théoriques, des ED de plans de traitement et également pendant le stage hospitalier avec la prise en charge thérapeutique de patients partiellement édentés jusqu'en 6^{ème} année.

2. Le diagnostic

Le diagnostic est la démarche par laquelle le chirurgien-dentiste va déterminer l'affection dont souffre le patient, et qui va permettre de proposer un traitement. Il repose sur la recherche des étiologies et symptômes de l'affection(3). C'est une étape déterminante qui permet de comprendre le processus qui a conduit le patient à perdre un certain nombre de dents et donc d'envisager le traitement le plus approprié pour prévenir la perte d'autres organes dentaires. L'objectif de l'enseignement est de permettre à l'étudiant de connaître et de savoir-faire toutes les étapes du diagnostic pour parvenir à l'autonomie dans la prise en charge d'un patient à partir de la 4^{ème} année.

a. Enseignement théorique

L'enseignement théorique est réalisé par des cours magistraux. L'enseignant devra faire savoir comment sont conduits :

- l'entretien médical
- l'anamnèse dentaire et médicale
- l'examen clinique endobuccal, occlusal, exobuccal, parodontal et radiologique.

b. Enseignement pratique

L'enseignement pratique est réalisé par des travaux pratiques en 2^{ème} mais surtout en 3^{ème} année. L'étudiant doit savoir-faire :

- Des empreintes d'étude et juger de la qualité de celles-ci.
- Tracé des indices positifs et négatifs

Les étudiants doivent connaître les différentes structures en relation avec la future prothèse. Les surfaces pouvant servir d'appui, de rétention (indices positifs) ou au contraire, les surfaces devant être ménagées ou déchargées (indices négatifs).

L'étudiant dispose d'un modèle pédagogique et de crayons de couleurs. Il doit identifier puis reporter sur le modèle les indices positifs (bleu) et négatifs (rouge).



Figure 1 : Syllabus PAPIM UNSA. Tracés des indices maxillaires positifs (bleu) et négatifs (rouge).



Figure 2 : Syllabus PAPIM UNSA. Tracés des indices mandibulaires positifs (bleu) et négatifs (rouge)

- Tracé et réalisation de la maquette d'occlusion

L'étudiant réalise ensuite au crayon gris sur le modèle en plâtre le tracé de la maquette d'occlusion en veillant à bien respecter les impératifs de réalisation.



Figure 3 : Syllabus PAPIM UNSA. Tracé des limites de la plaque base maxillaire des maquettes d'occlusion.



Figure 4 : Syllabus PAPIM UNSA. Maquette d'occlusion maxillaire.

La maquette d'occlusion est constituée d'une plaque base en résine et de bourrelets en cire. Les bourrelets permettent à l'étudiant de visualiser les hauteurs et largeurs de dents.

L'objectif est de mettre les modèles d'étude en occlusion, en reproduisant la situation en bouche. Cela permet l'étude de l'occlusion en statique et en dynamique, la réalisation du montage directeur et des cires de diagnostic pour établir le projet prothétique.

Après avoir réalisé les maquettes d'occlusion, les étudiants réalisent le transfert d'une situation clinique sur un outil diagnostique. C'est l'enregistrement des relations intermaxillaires (RIM).

- Le montage en articulateur

« Les articulateurs sont des appareils destinés à la mise en relation de moulages de travail dans une position mandibulaire de référence articulaire (la relation centrée) et permettant de réaliser les mouvements relatifs de ces moulages, simulant, plus ou moins précisément, la cinématique mandibulaire. » (4)

Lors des TP de gestuelle et pratique en 2^{ème} année, les étudiants réalisent un premier transfert sur articulateur afin de se familiariser avec cet outil et avec les matériaux associés (cires d'occlusion, plâtre, cire d'enregistrement).

Lors des TP de 3^{ème} année, les étudiants procèdent à l'enregistrement des RIM de modèles montés sur simulateur grâce à l'arc facial qu'ils ont déjà utilisé lors des TP d'occlusodontie. Les modèles sont ensuite montés sur articulateur.

En 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} année, les étudiants réalisent des montages en articulateur pour la prise en charge thérapeutique de leurs patients.

Des articulateurs virtuels commencent à voir le jour, par exemple celui du logiciel DentalWings® d'Euromax®.

D'après Laplanche et Duminil, 2011, (4), « Le principe est de disposer dans le logiciel de CAO des paramètres permettant de déplacer les arcades virtuelles selon les mêmes déterminants que ceux de l'articulateur sur lequel les moulages ont été montés. Pour cela on passe par trois étapes successives :

- La calibration de l'articulateur (positions relatives des branches de l'articulateur)
- Numérisation des moulages en positions relatives par rapport aux branches de l'articulateur
- Paramétrage de l'articulateur »



Figure 5 : Montage des modèles de travail en articulateur (4).



Figure 6 : Mise en articulateur virtuel après numérisation des modèles individuels (4).

Cet articulateur virtuel, permet d'étudier la position du futur plan d'occlusion, d'envisager des modifications dentaires ou de dimension verticale d'occlusion simplement par traitement informatique. Il permet aussi, par un effet de transparence des modèles virtuels, de mettre en évidence les contacts associés aux éventuelles modifications apportées et ainsi d'établir un montage directeur virtuel. L'application pratique, par un montage directeur physique manipulable par les étudiants n'est pas possible. Seule la réalisation du châssis métallique de la PAPIM, par procédé de FAO, est possible au laboratoire. Le montage des dents devra être réalisé par le prothésiste au laboratoire. Cela fait en fait un outil d'étude ludique mais sans application clinique ou pédagogique pour l'enseignement de la PAPIM.

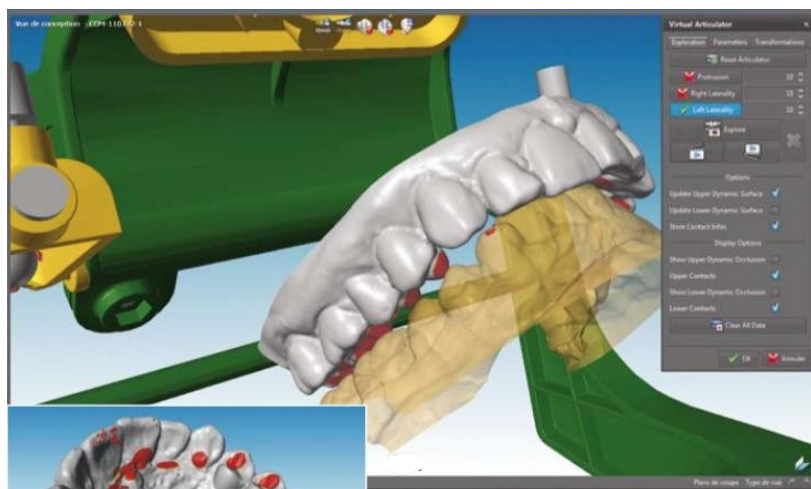


Figure 7 : Mise en évidence des contacts occlusaux sur l'articulateur virtuel (4).

A ce stade, l'étudiant est à même de faire un diagnostic complet et d'établir un plan de traitement. Il lui faut désormais acquérir le savoir-faire pour pouvoir réaliser une PAPIM.

L'enseignement du diagnostic se poursuit en clinique avec la prise en charge de patient lors du stage hospitalier en 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} année. Les étudiants appréhendent alors la partie relationnelle de la profession en étant confronté aux patients, à leurs doléances et à leur singularité.

3. Éléments constitutifs de la PAPIM

Conventionnellement, les constituants du châssis sont d'abord présentés aux étudiants lors d'enseignements dirigés en 3^{ème} année. Les étudiants, en groupes (5), disposent de documents de travail sur un des constituants que sont l'armature, la selle prothétique, les barres cingulaires et coronaires, les taquets occlusaux, les connexions, les moyens de liaisons et les crochets. Chaque groupe présente ensuite le compte rendu de son travail aux autres groupes par un exposé oral et projeté. Cet ED permet de faciliter l'assimilation des connaissances des étudiants de type assimilateur et observateur (1).

Parallèlement des châssis sont présentés à l'étudiant afin qu'il puisse le toucher, le manipuler contribuant ainsi à faciliter l'apprentissage des étudiants de style manipulateur (1).

L'objectif de ces ED est de bien faire connaître les constituants de la PAPIM, leurs liaisons, leur forme. Ce qui peut être difficile en début de formation, c'est de visualiser tous ces éléments, leurs impératifs de conception, leur épaisseur, leur position et leurs rôles.

Plusieurs séances de travaux pratiques sont réalisées:

- les étudiants doivent savoir faire des crochets sur macro modèles. L'objectif est de faire savoir la forme, les rôles et la position des différentes parties d'un crochet.



Figure 8 : Réalisation d'un crochet en cire sur macro modèle.

- La réalisation de préformes en cire, avec pour objectif de réaliser un châssis en cire « avant coulée ». Ce TP fait suite à l'enseignement du tracé de châssis.

L'utilisation de logiciels de CAO pourrait se révéler intéressante avec pour objectif de multiplier les supports d'enseignement et ainsi parvenir à une meilleure transmission des connaissances.

a. Les logiciels pédagogiques

Les logiciels pédagogiques ont été créés par des enseignants pour les étudiants. Ils ont pour objectifs :

- de permettre l'étude de nombreux cas par l'étudiant qui dispose de modèles pédagogiques (METACIEL® , UFR Odontologie Clermont-Ferrand) (6) ou de modèles à édenter (DIGITRACE®, Dr Santoni UFR Marseille) présentant tous les types d'édentements(7).
- d'offrir un apprentissage pas à pas, en fonction du temps propre à chaque étudiant, par une accessibilité en ligne du logiciel.
- de pouvoir recommencer les cas à l'infini.

- d'offrir une autoévaluation rapide, avec des corrections et explications complètes à chaque étape, favorisant une assimilation des connaissances.
- d'intéresser plus facilement l'étudiant de style convergent qui préfère le temps d'étude non dirigé et la résolution de cas (1).
- de proposer un support ludique et adaptée à la nouvelle génération (8).
- de déplacer le modèle dans les trois dimensions et de zoomer sur les éléments constitutifs du châssis.

Le logiciel METACIEL est un logiciel de tracé de châssis en trois dimensions guidé et corrigé. Il constitue un outil pédagogique pour l'étudiant et lui offre la possibilité d'un auto apprentissage par les nombreux cas disponibles sur le site en ligne.

De plus il est possible de choisir entre le mode débutant ou expert (avec ou sans question à choix multiples) et ainsi s'adapter à l'avancée en acquisition des compétences de l'étudiant.



Figure 9 : Metaciel® UFR Clermont. Ecran d'accueil sélection mode expert ou débutant.

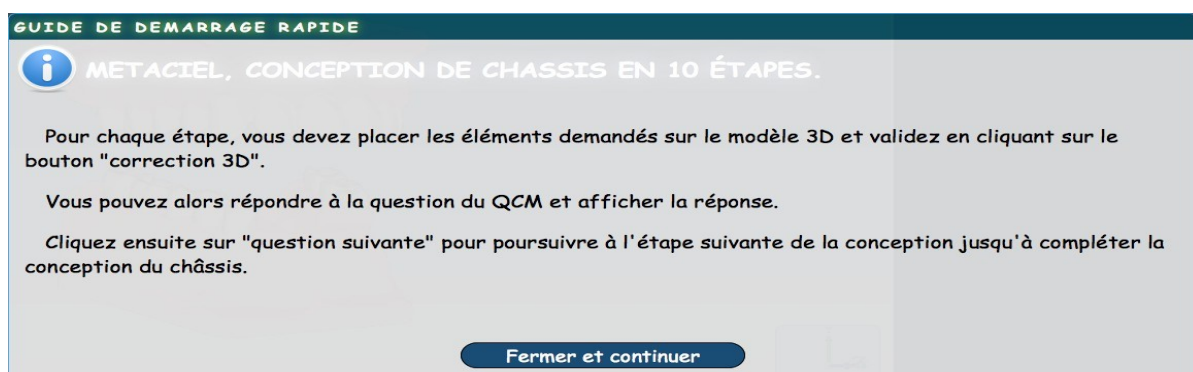


Figure 10 : Metaciel® UFR Clermont (6). Guide de démarrage rapide.

Pour commencer, un didacticiel permet de se familiariser avec le logiciel et favorise une bonne prise en main. Après quoi, différents cas sont proposés à l'étudiant.

Une fois le cas choisi, des modèles apparaissent, ils peuvent être mis en occlusion et déplacés dans les trois dimensions.

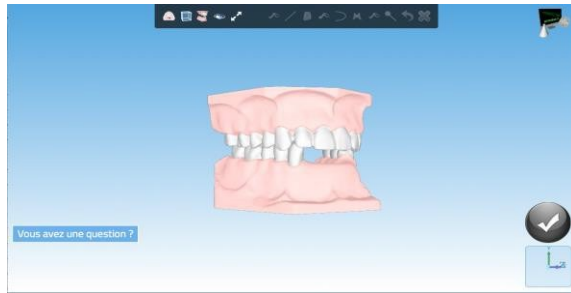


Figure 11 : Metaciel® UFR Clermont (6). Modèles virtuels en occlusion.

Une question à choix multiples (QCM) apparaît alors, demandant d'identifier la classe d'édentement. Après avoir validé la réponse, un rappel de cours est donné. En cas d'erreur, une correction est immédiatement présentée à l'étudiant.



Figure 12 : Metaciel® UFR Clermont (6) . QCM d'autoévaluation.

Il convient ensuite de placer les appuis occlusaux primaires et de répondre à une nouvelle QCM sur le rôle de ces derniers. Une fois encore, la réponse est donnée et permet une auto évaluation rapide.

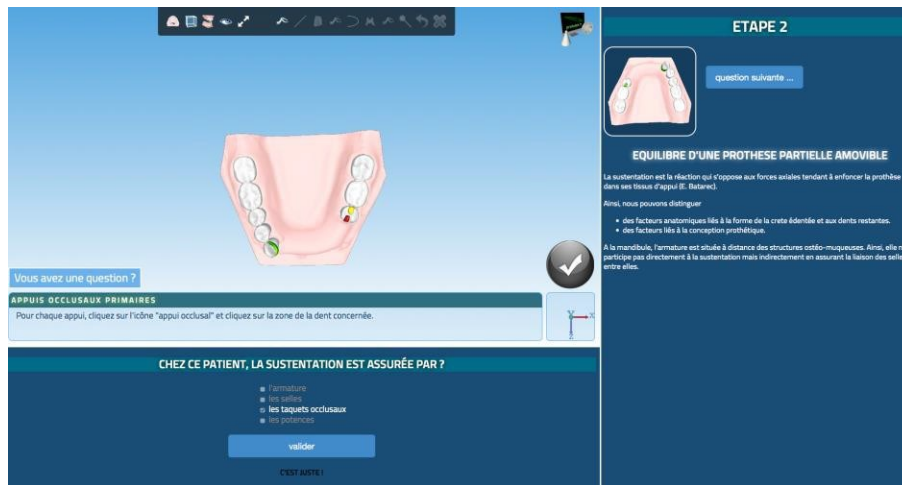


Figure 13 : Metaciel® UFR Clermont (6). Placement des appuis primaires. Bon placement (vert), mauvais placement (rouge), placement corrigé (jaune).

Les étapes suivantes consistent au placement des appuis secondaires, des selles, potences, du décolletage, de l'armature et des crochets. A chaque fois, une question à choix multiples (QCM) en relation avec l'étape en question est proposée.

Au cours de chaque étape, il est possible de déplacer virtuellement le modèle ou de zoomer afin de mieux visualiser les éléments.

L'étudiant peut ainsi voir les éléments constitutifs du châssis individuellement puis intégrés à l'ensemble que constitue la PAPIM.

Enfin, après la dernière étape, un récapitulatif est proposé avec un bilan du positionnement des éléments du châssis (correct, manquant et inutile). Il permet aussi de visualiser le châssis complet en 3D.

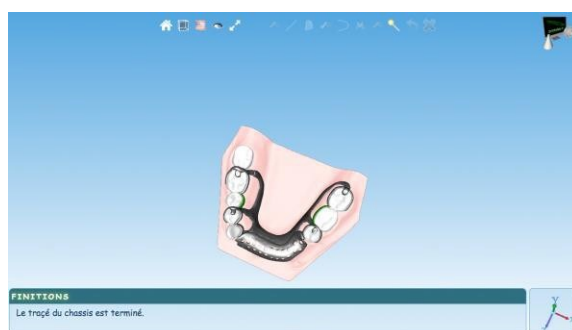


Figure 14 : Metaciel® UFR Clermont (6). Tracé du châssis terminé.

b. Les logiciels professionnels

Les logiciels professionnels ont pour finalité la production du châssis métallique par frittage laser ou impression 3D. Ils permettent une conception libre de chacun des constituants du châssis, par le réglage des formes, épaisseurs et dimensions de ces derniers. Ils s'adressent donc plutôt à des étudiants en stage hospitalier qui connaissent les impératifs de fabrication d'une PAPIM et possèdent le savoir-faire nécessaire.

Ces logiciels peuvent être utilisés par l'enseignant pour préparer les cours et les documents pédagogiques en adjoignant des captures d'écrans tirées du logiciel. De plus il est possible de réaliser des démonstrations pour les étudiants avec un opérateur expérimenté afin de faciliter la vision des éléments individuels constituant une PAPIM puis de la prothèse dans son ensemble avec une vision ludique. La possibilité de zoomer et de faire pivoter les éléments dans les trois dimensions de l'espace offre des options pédagogiques intéressantes., notamment pour les étudiants de style observateur (9).

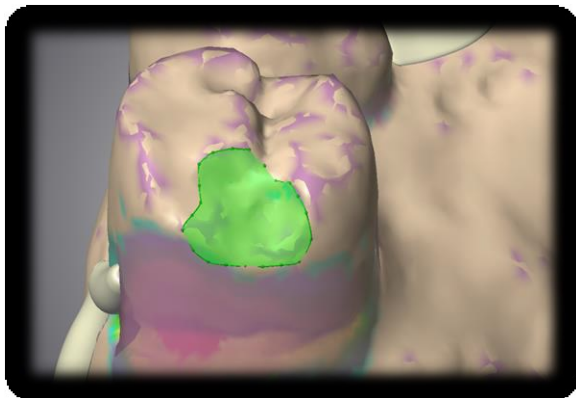


Figure 15 : DentalWings® d'Euromax®. La forme de préparation d'un taquet occlusal, créé par l'opérateur puis séparé de la dent.



Figure 16 : DentalWings® d'Euromax®. Taquet occlusal correspondant à la figure 15.

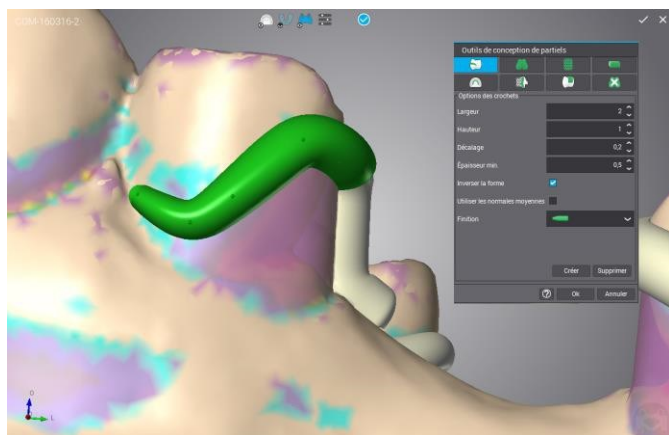


Figure 17 : DentalWings® d'Euromax®. En vert, un bras élastique de crochet dont on peut modifier les caractéristiques grâce aux options du logiciel. En violet, la cire virtuelle comble les contre dépouilles. En bleu le degré de contre dépouille (faible ici). La partie rétentive du crochet dans la zone de contre dépouille.



Figure 18 : DentalWings® d'Euromax®. Vue en coupe sagittale de la potence espacée des zones de contre dépouille par de la cire virtuelle.

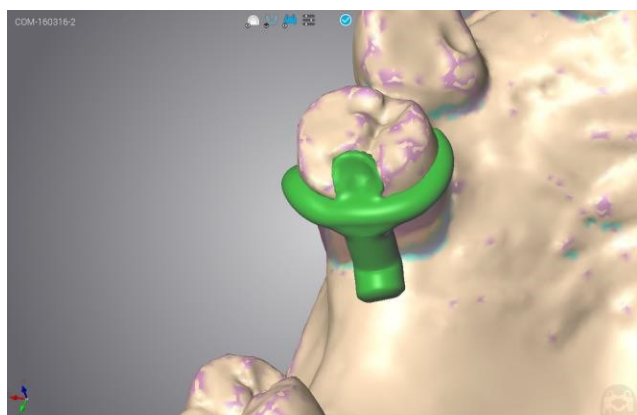


Figure 19 : DentalWings® d'Euromax®. Un crochet répondant à tous les impératifs prothétiques.

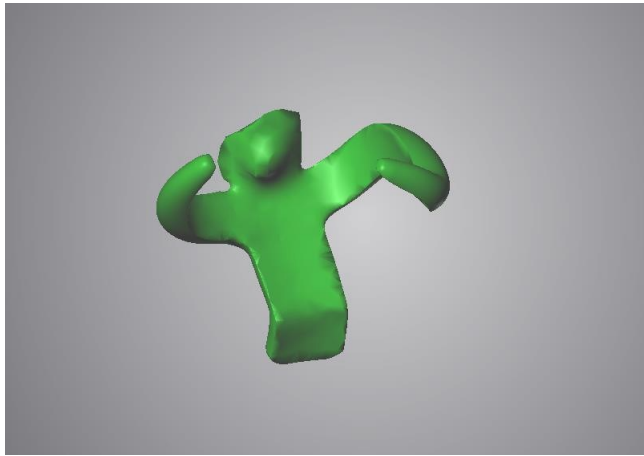


Figure 20 : DentalWings® d'Euromax®. Séparation du crochet créé du modèle virtuel. Vision de l'intados du crochet.

La possibilité de voir l'intrados du crochet contrairement aux macros modèles (figure 8) est intéressante.

Le logiciel offre également des vues en coupe qui permettent par exemple de montrer que la selle est à distance de la muqueuse.

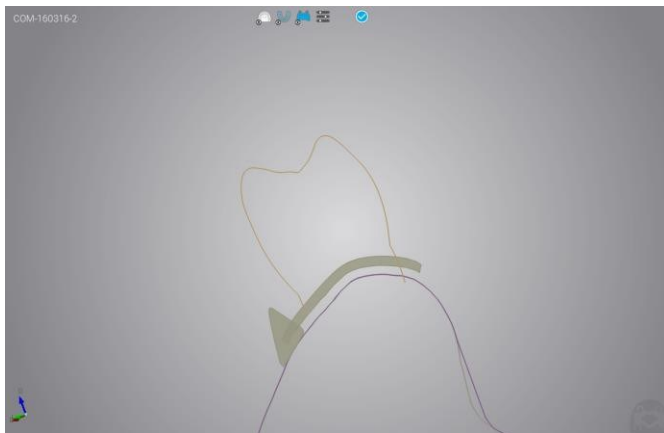


Figure 21 : DentalWings® d'Euromax®. Vue en coupe sagittale. En violet, le modèle virtuel, en gris, la selle prothétique, en jaune, une dent prothétique.

4. Montages directeurs: réalisation du montage des dents prothétiques

Lors de TP en 3^{ème} année, une fois le montage en articulateur réalisé, les étudiants réalisent un montage directeur. Pour cela, ils doivent réaliser une base en cire sur laquelle seront montés des dents du commerce.

Les étudiants doivent alors connaître les différents impératifs prothétiques qui guident le positionnement des dents, avec notamment le respect des courbes de Spee et de Wilson mais aussi prendre conscience de l'articulé dans son ensemble. Le montage se fait en fonction de la dent antagoniste quand elle existe ou par rapport au plan de Carl O Boucher dans le cas contraire.



Figure 22 : Syllabus PAPIM UNSA. Montage directeur mandibulaire.



Figure 23 : Syllabus PAPIM UNSA. Montage directeur maxillaire.



Figure 24 : Syllabus PAPIM UNSA. Montages directeurs en occlusion droite.



Figure 25 : Syllabus PAPIM UNSA. Montages directeurs en occlusion gauche.

Les logiciels professionnels avec par exemple DentalWings® d'Euromax® permettent la conception par ordinateur d'un montage directeur

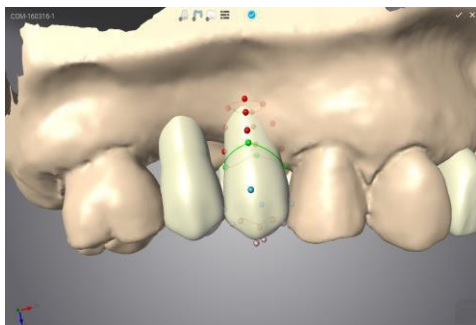


Figure 26: DentalWings® d'Euromax®. Réalisation du montage directeur virtuel.

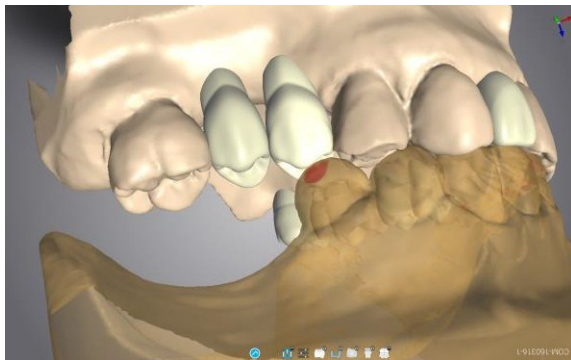


Figure 27: DentalWings® d'Euromax®. Montage directeur virtuel en occlusion.

Après la mise en occlusion des modèles on évalue les interférences, on contrôle l'occlusion et on règle les points de contact.

Le montage directeur réalisé grâce à DentalWings® d'Euromax® permet à l'étudiant de rétablir une occlusion virtuelle.

Cependant, il n'y a pas de mise en bouche possible du montage directeur car la fabrication assistée par ordinateur (FAO) ne concerne que le châssis sur lequel seront montées des dents du commerce. En effet, la fabrication des dents virtuelles est théoriquement possible mais engendre un coût trop élevé. De même, une modification de dimension verticale d'occlusion passe par des wax up virtuellement possibles mais non transposables en bouche.

Concernant l'enseignement du montage directeur, l'apport des logiciels CFAO reste minime. Il peut être ludique de les utiliser pour des étudiants en clinique, mais ces logiciels n'apportent rien à l'enseignement pré clinique.

5. Etude au paralléliseur. améloplasties sur les modèles d'étude **et report sur le simulateur**

Le passage au paralléliseur est une étape cruciale dans la conception et la compréhension de la PAPIM. L'objectif est de comprendre les notions d'axe d'insertion, de ligne de plus grand contour, de ligne guide et de contre dépouille (10).

Conventionnellement, plusieurs séances de TP sont organisées :

- En 2^{ème} année les étudiants se familiarisent avec le concept de contre dépouille. On utilise généralement l'exemple de l'œuf dans un premier temps avant d'utiliser le modèle pédagogique. Il leur est demandé de combler les contre dépouilles sur les modèles pédagogiques avant de réaliser la maquette d'occlusion (qui sera utilisée par la suite pour un montage en articulateur).
- En 3^{ème} année, les étudiants connaissent déjà la signification des contre dépouilles. Des TP sont organisés avec pour objectifs de déterminer un axe d'insertion, de le reporter sur le modèle et d'apporter les modifications pour améliorer l'insertion de la PAPIM (améloplasties).



Figure 28 : Syllabus PAPIM UNSA. Un paralléliseur.

Après l'étude au paralléliseur, les étudiants réalisent les améloplasties sur le modèle d'étude afin de s'entraîner avant de les réaliser sur le simulateur (en situation clinique de travail en bouche). Par exemple une modification de la ligne guide ou des embrasures.

Ils réalisent ensuite les préparations pour les taquets occlusaux.



Figure 29 : Préparation pour un taquet occlusal sur des modèles pédagogiques.

- En 4^{ème} année, des ED d'étude de cas cliniques au paralléliseur permettent de rappeler aux étudiants l'utilisation d'un appareil diagnostique qui leur paraît souvent complexe(11).

Les logiciels de CFAO peuvent être utilisés comme support pédagogique à ce niveau particulièrement en pré clinique pour favoriser une assimilation des connaissances par la visualisation des contre dépouilles.

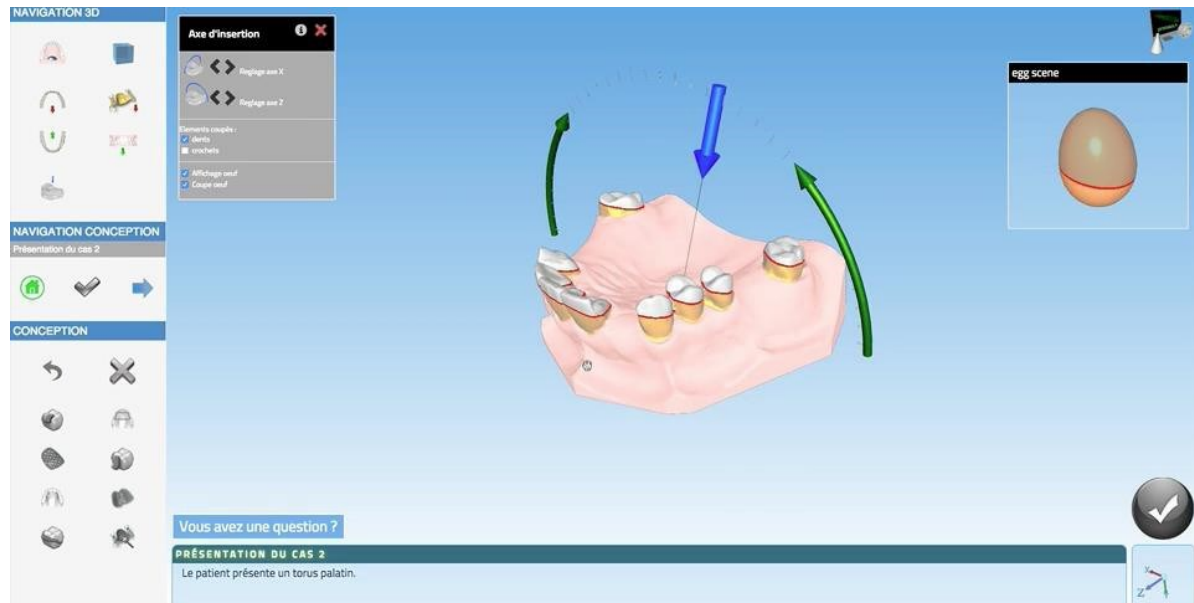


Figure 30 Metaciel® UFR Clermont (6).Utilisation de l'exemple de l'œuf pour la visualisation des contre dépouilles qui varient en fonction de l'axe.

Les logiciels professionnels comme DentalWings® d'Euromax® permettent la visualisation en 3D du modèle scanné. Il est possible de déterminer l'axe d'insertion grâce à un paralléliseur numérique.

A partir de cet axe d'insertion, l'ordinateur calcule les contre-dépouilles et les matérialise d'une couleur progressive (du bleu au rouge) en fonction de leur importance. Cela correspond aux jauges de Ney (0,25/0,50/0,75 pour respectivement bleu, vert et jaune) qui ont été présentées en TP lors du passage au paralléliseur. Le fait de les remplacer par un code couleur rend cela plus didactique pour l'étudiant.

Les étudiants, en faisant varier l'axe, observent directement les contre-dépouilles associées. Ils peuvent essayer plusieurs inclinaisons en visualisant ainsi plusieurs axes et les contre dépouilles associées. Ils déterminent ainsi l'axe d'insertion le plus pertinent et mieux comprendre pourquoi il choisit ce dernier.

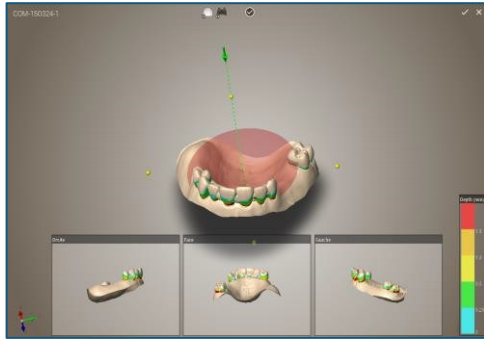


Figure 31 : DentalWings® d'Euromax®. Visualisation du degré de contre dépouille en fonction de l'axe d'insertion choisi. Contre dépouille croissante du bleu vers le rouge. Le disque rouge matérialise le plan perpendiculaire à l'axe d'insertion et donc les contre dépouilles associées à cet axe.

L'importance de combler les contre dépouille à la cire après avoir déterminé l'axe d'insertion peut être également illustrée avec la cire virtuelle et les vues en coupe.

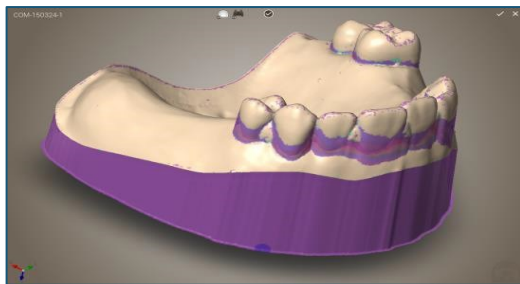


Figure 32 : DentalWings® d'Euromax®. Contre dépouilles comblées par de la cire virtuelle.

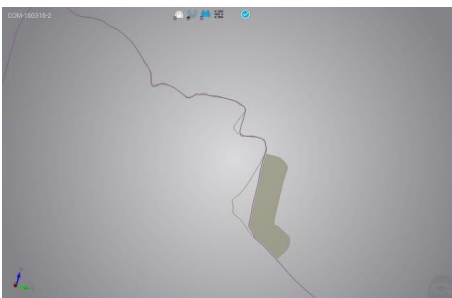


Figure 33 : DentalWings® d'Euromax®. Vue en coupe sagittale de la potence espacée des zones de contre dépouille par de la cire virtuelle.

Ces logiciels offrent également la possibilité de visualiser les améloplasties réalisées en bouche, de vérifier leur bonne forme, profondeur et de détecter les interférences éventuelles. De plus, l'utilisation de caméra intrabuccale par les étudiants en clinique permettrait d'agrandir et de juger de la qualité des améloplasties.

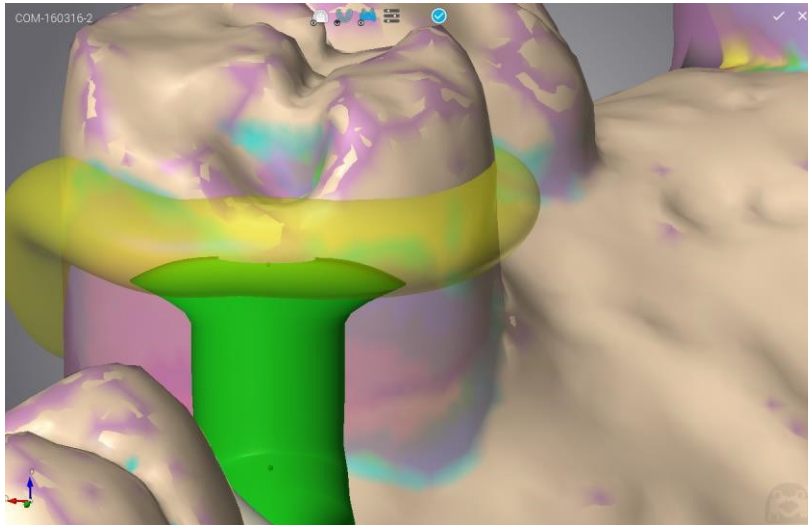


Figure 34 : DentalWings® d'Euromax®. Vue de l'améloplastie et réalisation du crochet.

6. Tracé et positionnement des éléments du châssis

Une fois les éléments constituant le châssis connus, il est demandé à l'étudiant de savoir faire un tracé de châssis.

Lors des TP de 3^{ème} année, après avoir déterminé l'axe d'insertion et tracé les lignes guides au paralléliseur, les étudiants procèdent au tracé de châssis sur le modèle de travail.



Figure 35 : Syllabus PAPIM UNSA. Tracé de châssis sur le modèle de travail maxillaire.

Une fois le tracé réalisé, les préformes en cire sont mises en place sur le modèle. L'objectif est de matérialiser les épaisseurs, formes, connexions et positions des éléments du châssis.



Figure 36 : Syllabus PAPIM UNSA. Préforme en cire sur modèle de travail maxillaire.

Lors des ED et en travail personnel en 3^{ème} année, les étudiants s'exercent en multipliant les cas par des tracés de châssis sur modèles et sur papier, en deux dimensions. Ces cas sont des cas pédagogiques types.

Les logiciels pédagogiques, tel que DIGITRACE® du Dr Santoni de l'université d'Aix Marseille, permettent de visualiser les crochets et leur potence ainsi que les connexions primaires, les selles et ensuite de matérialiser la plaque base. On pourra ainsi soit dessiner, soit concevoir le tracé des châssis métalliques amovibles (7).

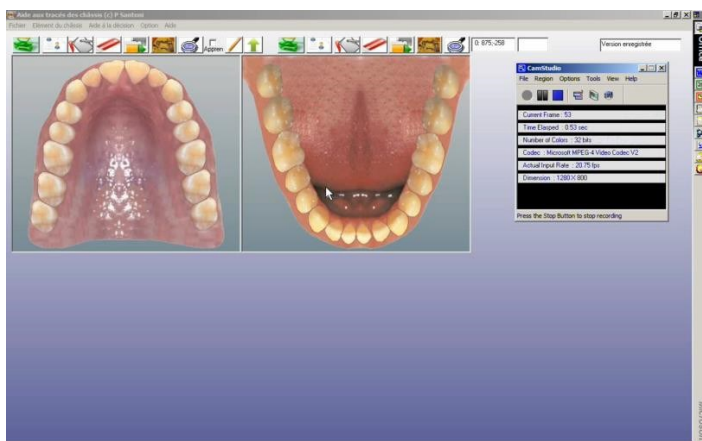


Figure 37 : Logiciel Digitrace®. Menu initial.

Ce logiciel propose plusieurs modes (7) : automatique, semi-automatique et manuel. Quel que soit le mode choisi, il est possible de modifier l'édentement et ainsi d'adapter le modèle virtuel à la situation clinique.

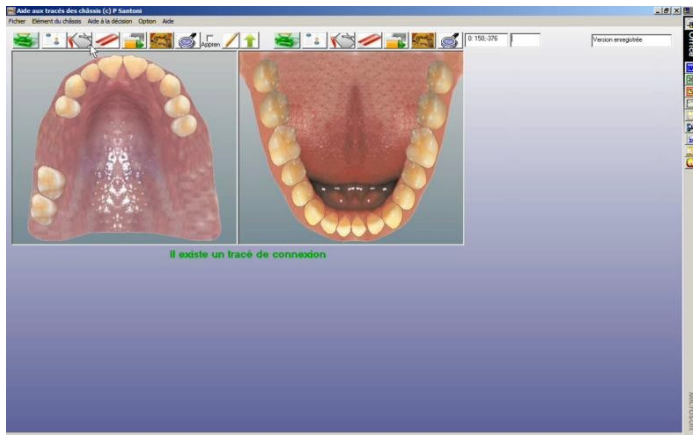


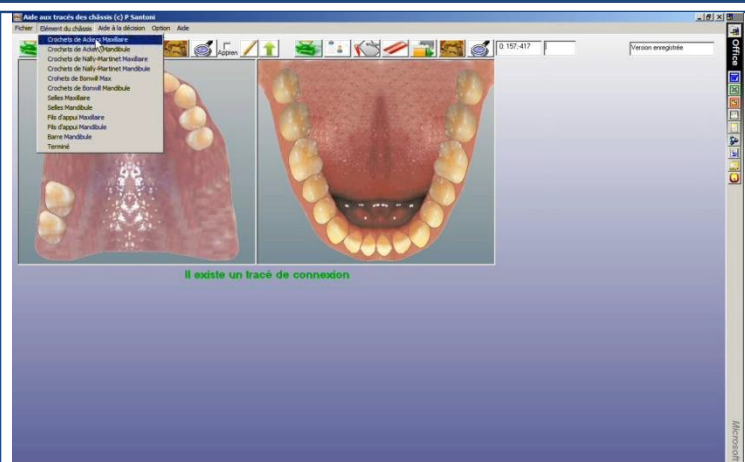
Figure 38: Logiciel Digitrace®. Préparation de l'édentement du modèle maxillaire.

L'intelligence artificielle permet, en mode « automatique », d'obtenir des PAP qui répondent aux données acquises de la science. La conception est basée sur « Maîtriser la prothèse amovible partielle » (12). Il ne s'agit pas de modèles présents en mémoire. Le logiciel propose des solutions en fonction des critères intégrés. Ce mode permet également de définir automatiquement la classe de Kennedy-Applegate (13).

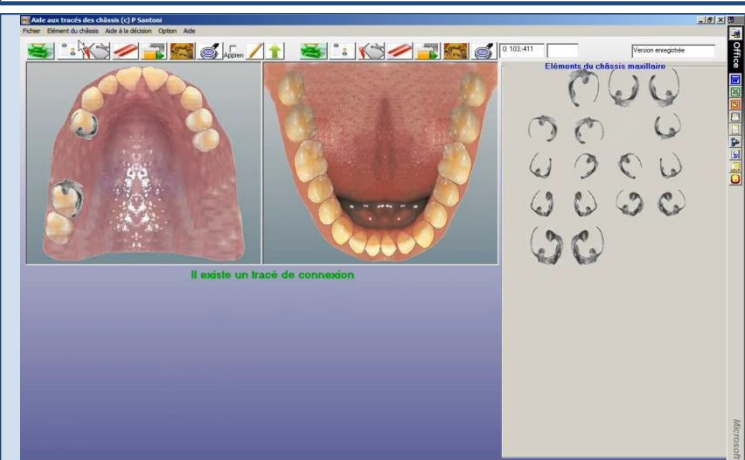
Le mode « manuel » se rapproche de la méthode d'enseignement conventionnel par préformes en cire. Il est ainsi possible de sélectionner les éléments constitutifs en fonction de l'édentement de la situation clinique.

Tableau 1 Déroulé de la résolution d'un cas avec le logiciel Digitrace© du Dr Santoni de l'université d'Aix Marseille .

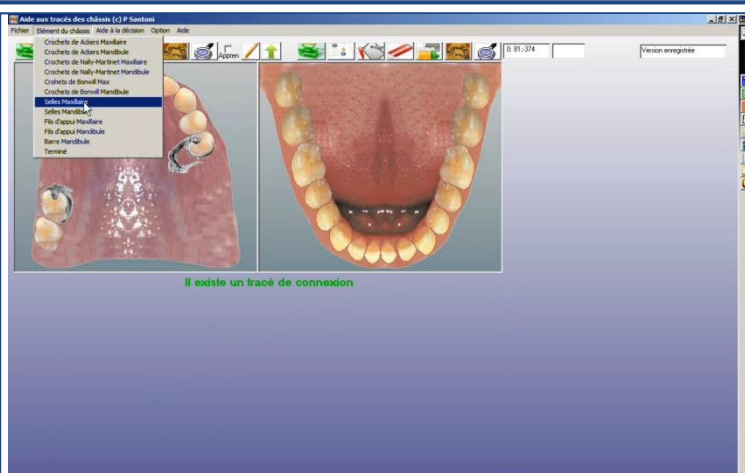
Choix du type d'éléments
constitutifs du châssis



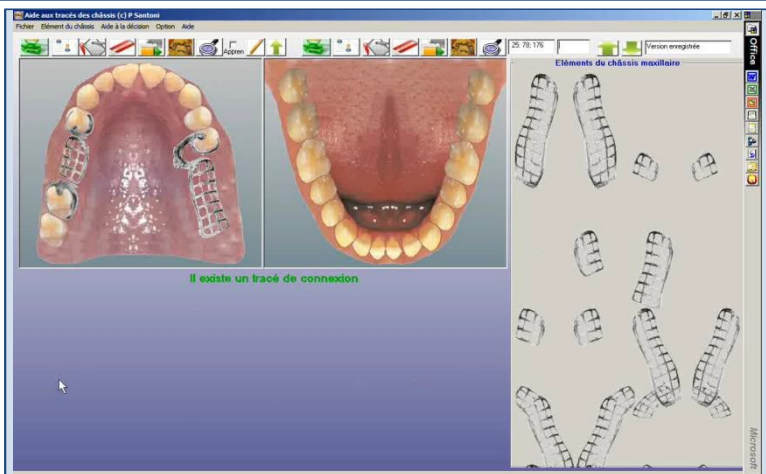
Choix de la forme et
orientation des appuis



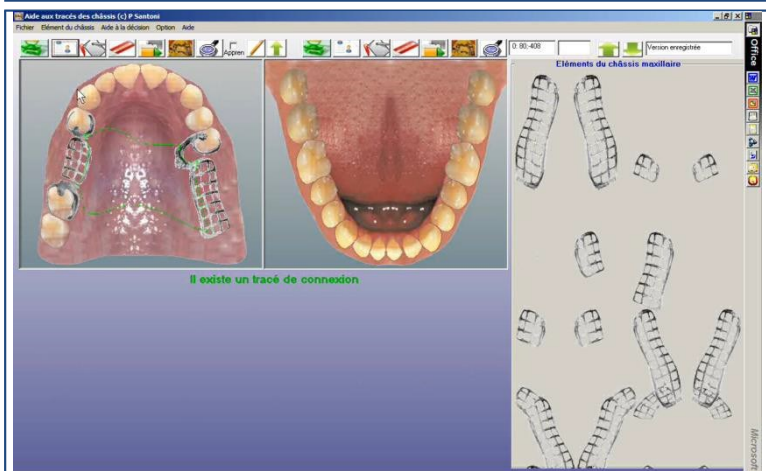
Choix des selles



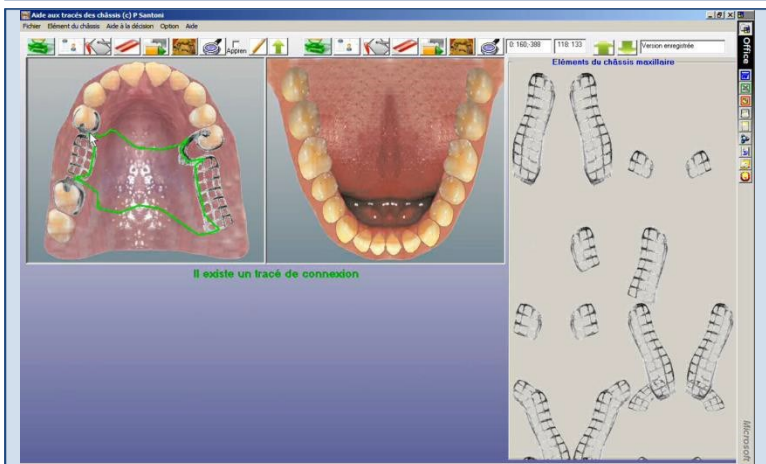
Mise en place des selles



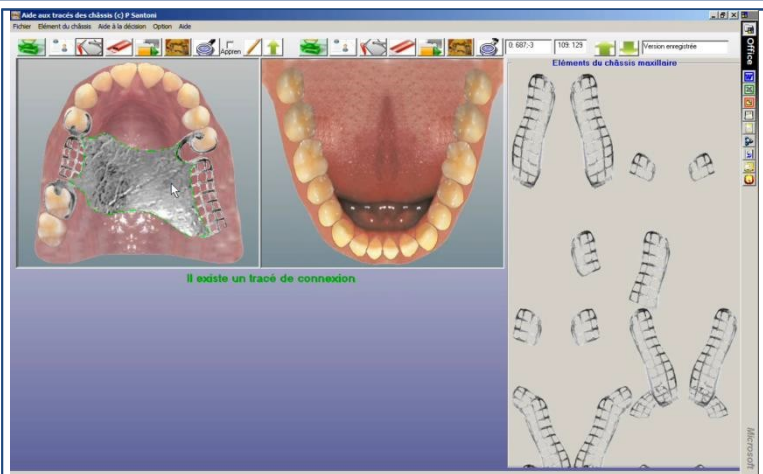
Aide à la réalisation des connexions



Tracé de la plaque palatine



Remplissage de la plaque palatine



L'intégration de ce logiciel dans l'enseignement permet :

- De réaliser en quelques minutes, un châssis complet, et amène à mieux cerner les étapes et la finalité de réalisation d'une PAPIM.
- Le rythme d'apprentissage varie entre les étudiants et ce logiciel leur permet par une accessibilité en ligne, de travailler seul. Ils peuvent ainsi se perfectionner ou affiner leurs connaissances en multipliant les cas en fonction de leurs besoins, contrairement aux ED qui concernent un groupe d'étudiants avec des styles et des rythmes d'apprentissage différents.
- Pour les étudiants de type convergent, un auto apprentissage et la réalisation de plusieurs cas cliniques(1).

7. Obtention des modèles de travail

En 2^{ème} année, les étudiants réalisent des empreintes d'études à l'alginat. Ils apprennent les zones à enregistrer, à juger de leur empreinte et à déterminer si elle est exploitable ou non. S'ils jugent que leur empreinte est exploitable, une double base engrenée est réalisée en vue d'un montage sur articulateur.



Figure 39: Syllabus PAPIM UNSA.
Empreinte à la pâte à l'oxyde de zinc eugénol avec maquette d'empreinte.



Figure 40 : Syllabus PAPIM UNSA.
Empreinte pour modèle de travail en deux temps deux matériaux.

En 3^{ème} année, les étudiants doivent savoir faire des empreintes de travail avec de porte empreinte individuels (PEI) et de maquettes d'empreinte. C'est sur ce modèle de travail que va être réalisé le châssis.

Il peut être difficile de juger de la qualité d'une empreinte sans passer par la coulée du plâtre. Les erreurs apparaissent mieux sur le positif, donc le modèle de travail.

Les logiciels professionnels comme DentalWings® d'Euromax® vont permettre une numérisation directe de l'empreinte. Ils reconstituent instantanément un modèle en 3D. Les étudiants accèdent donc à une auto évaluation rapide et peuvent déplacer et zoomer le modèle pour voir et comprendre leur erreur sans avoir à passer par la coulée du plâtre. Un scanner pourrait ainsi être utilisé par les étudiants afin de juger de la qualité de leur empreinte et de décider de son exploitation.

Les caméras intra orales actuelles ne permettent pas d'enregistrer la dualité tissulaire, on ne peut les utiliser que pour des édentements encastrés en vue de la réalisation d'une PAP à appuis dentaire.

Tous les autres modèles virtuels sont obtenus à partir d'empreintes prenant en compte les différences de comportement des surfaces d'appuis.

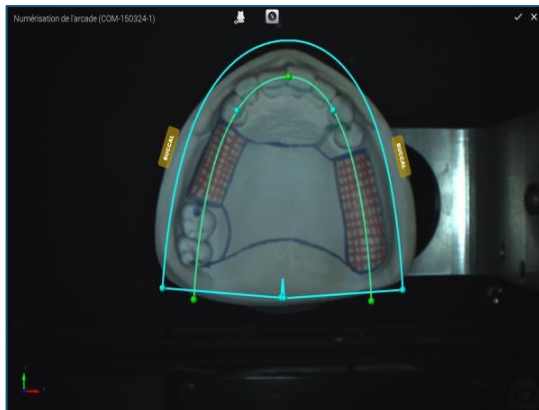


Figure 41 : DentalWings® d'Euromax®.Numérisation du modèle de travail.

8. Réalisation du châssis

Lors des TP de 3^{ème} année, après avoir déterminé l'axe d'insertion et les lignes guides au paralléliseur, les étudiants les reportent sur le modèle de travail.

Il convient d'identifier les zones de contre dépouille à combler, les zones anatomiques à décharger et les interstices à remplir.



Figure 42 : Syllabus PAPIM UNSA. Mise en place de cire pour : la protection de l'anneau gingival (orange), comblements des interstices (bleu), zones de contre dépouille (vert).

La réalisation de préformes en cire parachève l'apprentissage de la réalisation d'une PAPIM.



Figure 43: Syllabus PAPIM UNSA. Préformes en cire.



Figure 44: Syllabus PAPIM UNSA. Châssis.

Les logiciels de CFAO comme DentalWings® d'Euromax® permettent une numérisation du modèle de travail ou de l'empreinte correspondante. Il est ensuite

possible de réaliser informatiquement les choix de l'axe d'insertion et des lignes guide comme vu plus haut. Les contre dépouilles sont comblées automatiquement par de la cire virtuelle apportant certainement une meilleure précision qu'un opérateur manuel.

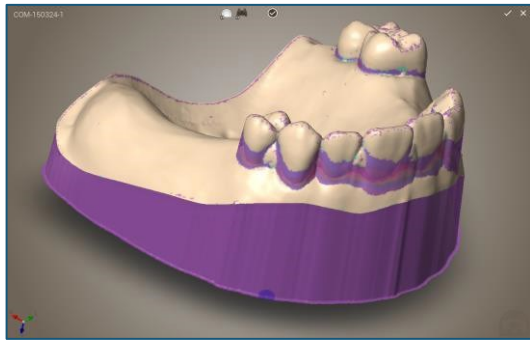


Figure 45 : DentalWings® d'Euromax®. Contre dépouilles comblées par de la cire virtuelle.

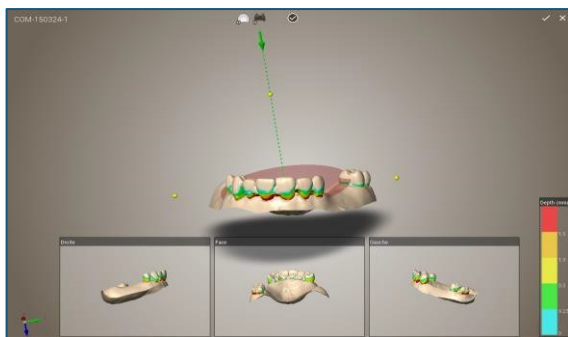


Figure 46: DentalWings® d'Euromax®. Visualisation du degré de contre dépouille en fonction de l'axe d'insertion choisi. Contre dépouille croissante du bleu vers le rouge. Le disque rouge matérialise le plan perpendiculaire à l'axe d'insertion et donc les contre dépouilles associées à cet axe.

Ces logiciels permettent un large choix de coupe, de largeur, d'épaisseur. Ils permettent de zoomer et de séparer les éléments du modèle virtuel en cours de conception.

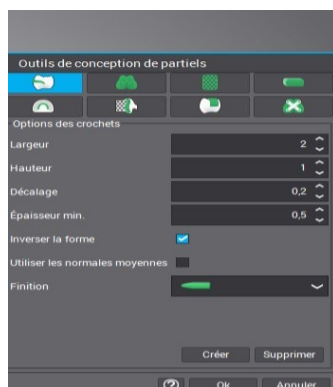


Figure 47 : DentalWings® d'Euromax®. Modification des caractéristiques des éléments du châssis.

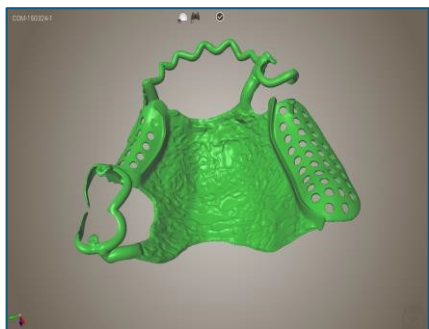


Figure 48 : DentalWings® d'Euromax®. Extrados du châssis virtuel.

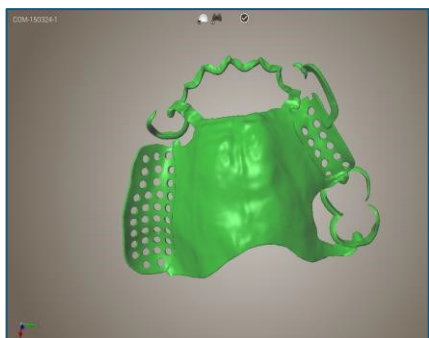


Figure 49 : DentalWings® d'Euromax®. Intrados du châssis virtuel.

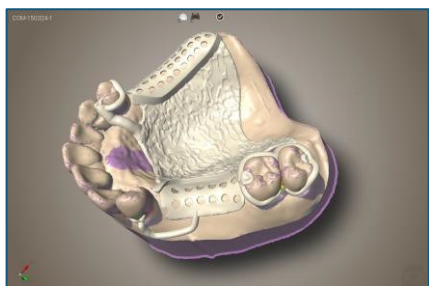


Figure 50 : DentalWings® d'Euromax®. Chassis virtuel sur modèle.

Une fois le tracé virtuel terminé, la réalisation se fait par frittage laser ou impression 3D.

La manipulation de tels logiciels nécessite un opérateur expert qui peut agrémenter la démonstration par des explications. L'opérateur doit savoir quels sont les points importants à faire visualiser aux étudiants afin de faciliter l'assimilation des connaissances. Il serait intéressant que la démonstration soit réalisée par un prothésiste.

II. Les différents systèmes de CFAO pour la PAPIM, critères de choix

1. Les systèmes de scanners

La numérisation 3D peut être définie comme un procédé permettant de mesurer les formes de la surface d'un objet pour en créer un fichier informatique utilisable dans un ordinateur. Ce fichier informatique est appelé "modèle numérique 3D" de l'objet numérisé (14).

On distinguera deux types de numérisation, celle de l'empreinte et celle du modèle.

Différentes méthodes existent pour procéder à l'acquisition : la triangulation laser, l'holographie conoscopique, la lumière structurée.

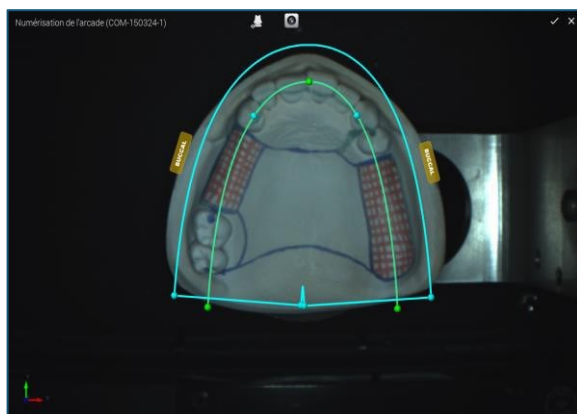


Figure 51: DentalWings® d'Euromax®. Sélection de la zone à scanner.

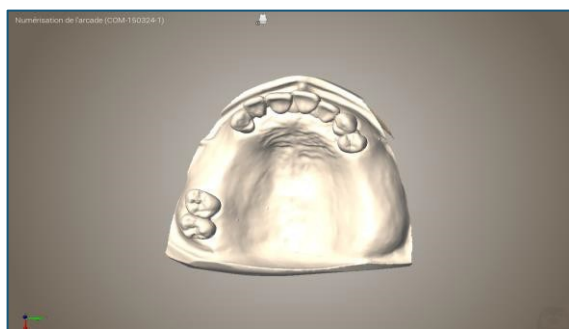


Figure 52: DentalWings® d'Euromax®. Obtention du modèle virtuel.

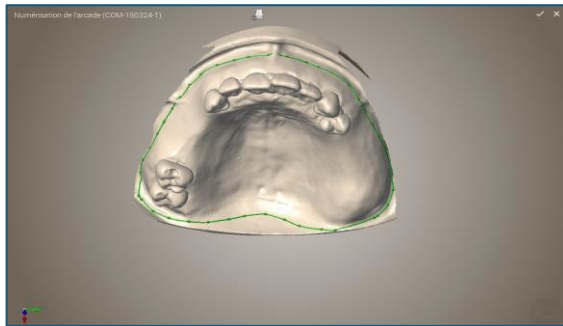


Figure 53 : DentalWings® d'Euromax®. Découpe du modèle virtuel.



Figure 54: DentalWings® d'Euromax®.Obtention du modèle virtuel final.

La numérisation 3D offre un réel potentiel pédagogique en de nombreux points et peut être intégrée à différents niveaux de l'enseignement. Elle permet :

- d'obtenir un modèle virtuel, informatiquement partageable et manipulable par les étudiants(15). L'utilisation du modèle virtuel affranchit de la conservation et reproduction de modèles pédagogiques physiques et donc réaliser une économie en matériel et en temps.
- de zoomer, donc de mettre en lumière les erreurs éventuelles lors de la réalisation des améloplasties, de la prise d'empreinte, après reconstruction en 3D.
- d'étudier une empreinte issue d'un cas clinique réel, sans coulée préalable.
- d'augmenter le nombre de cas étudiés par les étudiants.

Plusieurs modèles de scanner extra-oraux existent dans le commerce.

Tableau 2 Les différents scanners extra oraux(16).

Les scanners extra-oraux	
Marques	Caractéristiques
Ceramil Map 400 Amann Girrbach	<ul style="list-style-type: none"> - Système ouvert (STL) - Précision : 20 µm - Numérisation de l’empreinte et/ou du modèle en plâtre
PlanScan Lab Planmeca	<ul style="list-style-type: none"> - Système ouvert (STL, PLY, OBJ) - Précision : 15 µm - Numérisation de l’empreinte et/ou du modèle en plâtre
Straumann CARES CAD/CAM Straumann	<ul style="list-style-type: none"> - Système fermé. Chaîne complète Straumann CARES ® - Précision : NC - Numérisation de l’empreinte : NC
Nobel Procera Nobel Biocare	NC
Scan 200/D170 BienAir Dental	<ul style="list-style-type: none"> - Système ouvert (STL, DCM) - Précision : 20 µm - Numérisation de l’empreinte et/ou du modèle en plâtre
DentSCAN Delcam	<ul style="list-style-type: none"> - Système ouvert (STL) - Précision : 20 µm - Numérisation de l’empreinte et/ou du modèle en plâtre
AutoScan DS et DS200 Shining 3D	<ul style="list-style-type: none"> - Système ouvert (STL) - Précision : NC - Numérisation de l’empreinte : NC
Organical Dekstop Scan R+K	<ul style="list-style-type: none"> - Système ouvert (STL, PLY, ASC...) - Précision : 15µm - Numérisation de l’empreinte : NC

Les scanners extra-oraux	
DW-5Series et DW-3Series de Dental Wings	<ul style="list-style-type: none"> - Système ouvert (STL, ou autre sur demande) - Précision : 20 µm - Numérisation de l’empreinte et/ou du modèle en plâtre
inEOS X5 de Sirona Dental Systems	<ul style="list-style-type: none"> - Système vendu avec le logiciel inLab - Précision : 12 µm - Numérisation de l’empreinte et/ou du modèle en plâtre
D900L D1000 D2000 3Shape	<ul style="list-style-type: none"> - Système ouvert/fermé : NC - Numérisation de l’empreinte et/ou du modèle en plâtre <ul style="list-style-type: none"> > D900L - Précision : 7 µm <ul style="list-style-type: none"> > D1000 et D2000 - Précision : 5 µm <ul style="list-style-type: none"> > D2000 permet la numérisation de 2 modèles simultanément

Dans le cadre d’un exercice de travaux pratiques, il est possible de présenter aux étudiants de nombreux cas cliniques par simple partage informatique. De plus, la solution CFAO offre une économie indéniable en matériau (plâtre) et en temps (coulée des modèles) pour l’équipe enseignante. Pour l’étudiant, une possibilité de corriger ses erreurs et de réinitialiser son travail d’un simple clic alors qu’avec des modèles en plâtre, corriger une erreur se révèle complexe.

La possibilité de numériser des empreintes réalisées en clinique en plus des modèles pédagogiques comportant des édentements standardisés, offre un apprentissage plus proche de la réalité clinique. Cela permet aussi de présenter plusieurs cas cliniques aux étudiants sans passer par des coulées, encore une fois grâce au partage informatique.

A ce niveau, les techniques de CFAO démontrent un intérêt pour la pédagogie mais aussi en terme d’économie de matériau et de temps.

Les scanners peuvent être choisis en fonction de leur capacité à numériser des empreintes, des modèles d’étude ou de travail, des modèles montés sur articulateur. La préférence doit être donnée à un scanner pouvant prendre en charge un modèle négatif

(issu d'une empreinte) afin de permettre aux étudiants de visualiser les défauts éventuels avant la coulée du modèle positif.

Ainsi, on privilégie :

- les scanners capables de prendre en charge les empreintes
- les scanners prenant en charge les modèles montés sur articulateur
- un système ouvert (STL), afin de permettre les partages des données.

2. Les logiciels de CAO

Les logiciels de CAO permettent, après numérisation des modèles de travail, la conception d'un châssis métallique en vue de sa fabrication. Il en existe différents types.

Tableau 3 : Logiciels de CAO permettant la réalisation 3D de châssis métalliques(16).

Logiciels de CAO permettant la réalisation 3D de châssis métalliques [9]	
Produits et Fabricants	Caractéristiques
Digistel V4 de Digilea	<ul style="list-style-type: none">- Système ouvert : compatible avec tous les modes de fabrication (soustractive ou additive) et compatible avec scanner et moyen de production communiquant au format .stl- Reconnaissance des limites tracées sur le modèle- Quinze minutes en moyenne pour la réalisation d'un châssis- Module de conception de châssis métallique uniquement- Pas d'articulateur virtuel

Logiciels de CAO permettant la réalisation 3D de châssis métalliques [9]

Dental System de 3Shape	<ul style="list-style-type: none"> - Système ouvert : compatible avec tous les modes de fabrication (soustractive ou additive) et compatible avec scanner et moyen de production communiquant au format .stl - Reconnaissance des limites tracées sur le modèle. - Quinze minutes en moyenne pour la réalisation d'un châssis. - Module complémentaire à d'autre type de conception. - Système exhaustif (prothèse fixe, implantologie, adjointe, ODF) - Articulateur virtuel dynamique - (Possibilité d'importer dans le logiciel de conception de châssis un modèle de travail virtuel sur lequel de la prothèse fixée a été conçue, et d'y concevoir une PAPIM) - Possibilité de réaliser des PEI (Porte Empreinte Individuel)
DWOS de Dental Wings chez Euromax Prix public avec le scanner 32 000 euros	<ul style="list-style-type: none"> - Système ouvert : compatible avec tous les modes de fabrication (soustractive ou additive) et compatible avec scanner et moyen de production communiquant au format .stl - Sans reconnaissance (volontaire) des limites tracées sur le modèle - Quinze minutes en moyenne pour la réalisation d'un châssis - Module intégré au logiciel initial : permet la prothèse fixe et la prothèse adjointe partielle - Articulateur virtuel - (Possibilité de réaliser des prothèses composites grâce à l'échange des données numériques et à la gestion virtuelle des axes d'attachement).

Les logiciels de CAO constituent un outil ludique en PAPIM. Ils permettent de zoomer, déplacer et de faire varier les dimensions des éléments du châssis. Les nouvelles générations d'étudiants ont une perte d'attrait pour la prothèse amovible partielle et ces logiciels pourraient rendre plus attractif l'enseignement de cette matière.

Cependant, à la différence des logiciels pédagogiques, les logiciels professionnels de CAO nécessitent d'être manipulés par des opérateurs experts. Ils peuvent être laissés à la disposition d'étudiants en stage hospitalier qui, à la place de réaliser seulement un tracé de châssis, peuvent directement concevoir leur prothèse sous la responsabilité d'un expert.

Ces logiciels constituent un outil pédagogique pour l'enseignement lors de la réalisation des cours magistraux. Des démonstrations peuvent être organisées en TD et des images intégrées dans les cours et syllabus.

Ainsi, on privilégie :

- Un logiciel avec un système ouvert.

- Un logiciel avec un paralléliseur virtuel.
- Un logiciel prenant en charge la fabrication de châssis en métal mais aussi en résine.

3. **La fabrication du châssis métallique**

« Elle peut être directe ou indirecte et être réalisée par fabrication soustractive (usinage) ou additive. On la dit indirecte lorsque la machine-outil produit un modèle calcinable en cire ou en résine qui reprendra ensuite les étapes de fabrication traditionnelles. On la dit directe lorsque la machine-outil produit directement la pièce prothétique en bonne matière, soit en Chrome-Cobalt ou en Titane. » (16)

« La fabrication soustractive ou usinage est une technique de fabrication de pièces dont le principe est d'enlever de la matière par coupe ou par meulage de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision. A partir d'un bloc de matière, la pièce est fabriquée. L'idéal étant de la fabriquer directement dans la bonne matière évitant ainsi la coulée traditionnelle et limitant les retouches et finitions.» (16)

« La fabrication additive consiste à la mise en forme d'un objet par ajout de manière (contrairement à l'usinage) grâce à l'empilement de couches successives. Cette technique permet la réalisation de formes complexes, et même de plusieurs pièces de morphologies différentes simultanément. » (16)

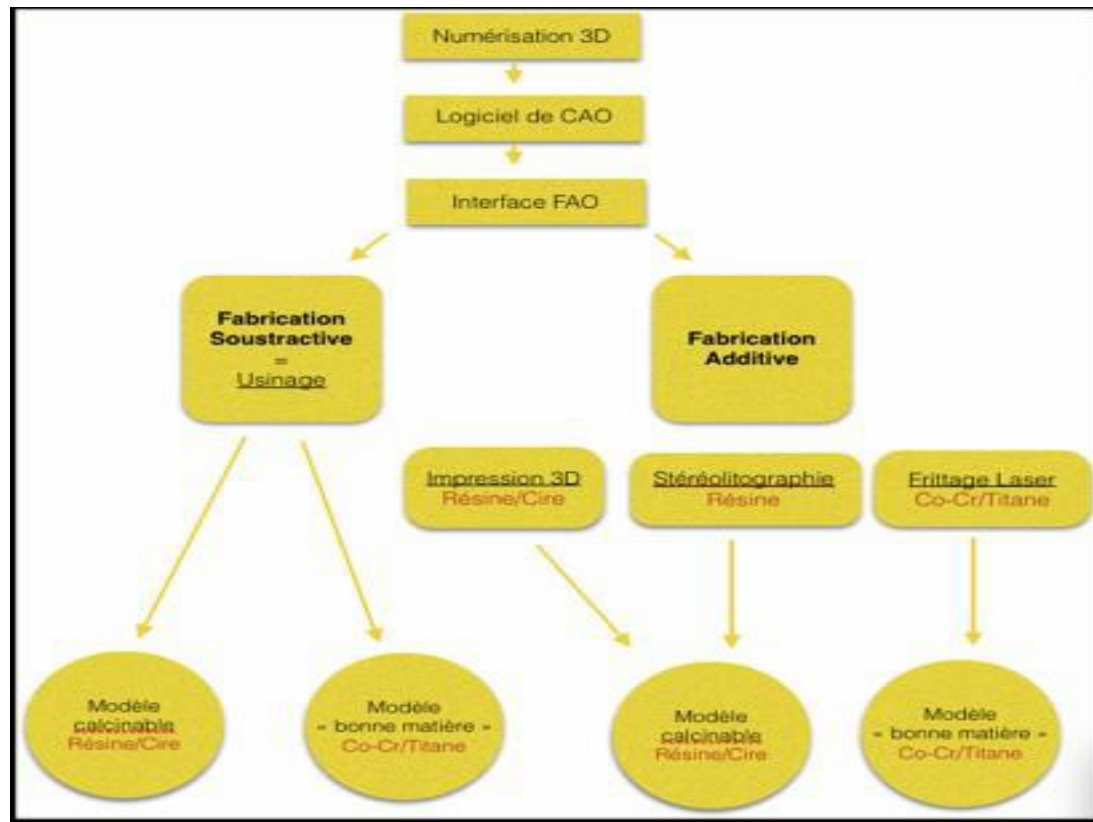


Figure 55 : Les deux types de fabrication assistée par ordinateur (16).

La technique de fabrication peut être utile pour que les étudiants en pré clinique puissent obtenir le châssis qu'ils ont eux-mêmes conçu. Ils pourront ainsi le manipuler, l'essayer sur le modèle de travail. Le coût des matériaux étant assez élevé, les châssis peuvent être fabriqués en résine.



Figure 56 : Châssis en résine obtenus par stéréolithographie (16).

III. Conception du châssis : comparaison entre la méthode conventionnelle et la CFAO : tableau synthétique.

	Méthodes d'apprentissage conventionnel		Méthodes d'apprentissage par CFAO		Synthèse
	Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients	
1. Réalisation du modèle d'étude	Maniement des matériaux Modèle physique	Coût matériel Nécessité de coulée pour mettre en évidence les défauts d'empreinte	Partage informatique des données Pas de coût matériel Multiplicité des cas	Pas de modèle physique Pas de maniement des matériaux	Méthode conventionnelle pour maniement des matériaux et CFAO pour multiplicité des cas
2. Etude du modèle positif	Dessin des indices Manipulation dans tous les sens de l'espace	Usure lors des différents TP Logistique de production et de conservation des modèles	Possibilité de zoomer numériquement Obtention rapide après numérisation de l'empreinte		Modèle d'étude indispensable pour les étapes de la chaîne prothétique Etude du modèle possible dès l'empreinte
3. Passage au paralléliseur et comblement des contre-dépouilles	Etudiant manipulateur (1)	appréhension vis à vis de l'outil	Simplicité de mise en œuvre et de compréhension		Avantage indéniable de l'utilisation du paralléliseur virtuel
4. Réalisation des maquettes d'occlusion	Manipulation des matériaux (cires, résines) Visualisation des hauteurs occlusales			Impossibilité de réaliser des éléments de la chaîne prothétiques sur le modèle (maquette d'occlusion ou PEI)	Modèle physique indispensable
5. Mise en articulateur et étude de l'occlusion	Mise en évidence des contacts occlusaux et des modifications à réaliser		Articulateur virtuel permet mise en évidence les contacts par transparence des modèles	Modifications virtuelles de l'occlusion difficiles à transposer à bouche.	Cliniquement, méthode conventionnelle Pédagogiquement méthode par CFAO

6. Réalisation du montage directeur	Manipulation des matériaux, Application du concept occlusal Visualisation des objectifs de traitement		Simplicité, rapidité, intérêt ludique	Mise en bouche impossible (limite de la FAO)	Faire comprendre aux étudiants par la CFAO puis permettre l'application pratique par un montage concret
7. Tracé du châssis	Outil de communication avec le prothésiste	Support 2D, difficulté de voir les formes et volume des constituants de la PAPIM	Logiciel pédagogique : Correction rapide, Explications associées, Rythme adapté à l'étudiant, Accessibilité en ligne	Les formes et volumes sont imposés par le logiciel pédagogique	Préalable par cours magistraux et connaissances des éléments constitutifs puis réalisation de cas par CFAO
8. Réalisation de la maquette d'empreinte	Idem 4			Idem4	Idem4
9. Empreinte pour modèle de travail	Manipulation des matériaux	Difficulté de juger de la qualité de l'empreinte	Empreinte directe impossible sauf pour édentements encastrés de petite étendue		Préalable indispensable avant exploitation par CFAO.
10. Réalisation du modèle de travail	Idem 1	Idem 1	Idem 1	Idem 1	Idem 1
11. Conception du châssis/Pré formes en cire	Visualisation des volumes et formes des éléments constitutifs		Possibilité de séparer le châssis du modèle, visualisation de l'intrados.	Pas de manipulation directe du châssis	Visualisation 3D, Vision de l'intrados. Dématisation du modèle de travail

Conclusion

En fin de formation initiale, ce travail m'a permis de m'intéresser à la PAPIM du point de vue de l'enseignant et non plus de l'étudiant. Cela m'a permis de mieux appréhender les techniques assistées par ordinateur et de m'y intéresser. J'ai pu remarquer le défi auquel fait face l'enseignant qui dispose d'un groupe d'étudiant apprenant avec des méthodes et à des rythmes différents.

L'arrivée des techniques de CFAO entraîne des bouleversements dans notre pratique quotidienne de la dentisterie. Une connaissance de ces technologies est donc indispensable et doit s'insérer au cœur de la formation. Les nouvelles technologies sont omniprésentes et la CFAO voit son champ d'action s'élargir à la PAPIM.

La PAPIM qui voit son attractivité diminuée dispose donc d'un nouvel atout qui la rend plus ludique et accessible aux nouvelles générations. Les logiciels pédagogiques et professionnels s'intègrent parfaitement dans l'enseignement et permettent d'en améliorer la qualité. De plus on remarque que des économies de matériaux consommables peuvent être réalisées par le partage informatique plutôt que par des coulées de modèles physiques (15).

Ce travail permet, par l'étude de l'enseignement de PAPIM réalisé à l'UFR d'Odontologie de Nice, de montrer l'apport de la CFAO en tant qu'outil pédagogique au service des étudiants.

Plus largement, la CFAO voit son champ d'action s'étendre dans nos cabinets et il est impératif de former les étudiants à son utilisation. Les dernières avancées laissent entrevoir la possibilité d'empreinte à l'aide de caméras intrabuccales et donc une transition vers le « tout numérique » dans les prochaines années.

BIBLIOGRAPHIE

1. Smith, M. K. (2001). 'David A. Kolb on experiential learning', the encyclopedia of informal education. Issu de <http://www.infed.org/b-explrn.htm>.
2. McKenzie CT. Instructor and Dental Student Perceptions of Clinical Communication Skills via Structured Assessments. J Dent Educ. mai 2016;80(5):563- 8.
3. Larousse É. Définitions : diagnostic - Dictionnaire de français Larousse.
4. Olivier Laplanche, Gérard Duminil. L'articulateur virtuel demain... c'est tout de suite. L'information dentaire. 23 nov 2011;40-41.
5. Echeto LF, Sposetti V, Childs G, Aguilar ML, Behar-Horenstein LS, Rueda L, et al. Evaluation of Team-Based Learning and Traditional Instruction in Teaching Removable Partial Denture Concepts. J Dent Educ. sept 2015;79(9):1040-1048.
6. Logiciel pédagogique METACIEL[©] UFR Clermont. Disponible sur: <http://metaciel.crocuca.fr/>
7. Logiciel DIGITRACE[©] Dr Santoni UFR Odontologie Marseille. Disponible sur: <http://www.digitrace-ppa.com/>
8. Ren Q, Wang Y, Zheng Q, Ye L, Zhou XD, Zhang LL. Survey of student attitudes towards digital simulation technologies at a dental school in China. Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur. 4 avr 2016.
9. M. Gillet, P. Corne, AS. Vaillant-Corroy, P. De March. Travaux pratiques en prothèse amovible partielle : intérêt de l'utilisation d'un programme de réalité virtuelle en trois dimensions. Information Dentaire. 25 Mars 2016.
10. Armand J, Hutin I. Utilisation du paralléliseur par le praticien. Information Dentaire. 3 mai 2000;(17- 18):1253.
11. R. Esclassan, J.Gala, F.Destruhaut, P.Pomar, J.Champion, E.Toulouse. Tracé des armatures et usage du paralléliseur en prothèse amovible partielle : le point de vue des praticiens et des prothésistes Information Dentaire. 28 Octobre 2014.
12. Santoni P. Maîtriser la prothèse amovible partielle. CdP. Paris; 2014.
13. Carr AB, Brown DT. CHAPTER 3 - Classification of Partially Edentulous Arches. In: Brown ABCT, éditeur. McCracken's Removable Partial Prosthodontics (Twelfth Edition). Saint Louis: Mosby; 2011. p. 16- 20.
14. CNIF. GUIDE DE LA CFAO DENTAIRE. Disponible sur: <http://www.cnifpd.fr/guidecfao/numerisation.html>
15. Bourgeat G. Apport de la CFAO en prothèse amovible partielle: intérêts pédagogiques pour l'étudiant. Aix-Marseille; 2015.
16. Zerzour K. Intérêts pédagogiques de la conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO) dans l'enseignement de la prothèse amovible partielle à infrastructure métallique. Faculté de chirurgie dentaire de Nice; 2015.



Approbation – Improbation

Les opinions émises par les dissertations présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ou improbation de la Faculté de Chirurgie dentaire (1).

Lu et approuvé,

Vu,

Nice, le

Le Président du jury,

Le Doyen de la Faculté de
Chirurgie Dentaire de l'UNS

Professeur

Professeur Armelle MANIERE

(1) Les exemplaires destinés à la bibliothèque doivent être obligatoirement signés par le Doyen et par le Président du Jury.

Serment d'Hippocrate

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'Hippocrate,

Je promets et je jure, au nom de l'Etre Suprême, d'être fidèle aux lois de l'Honneur et de la probité dans l'exercice de La Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui se passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon Devoir et mon patient.

Je garderai le respect absolu de la vie humaine dès sa conception.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'Humanité.

Respectueux et reconnaissant envers les Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses,

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Tom MARRUCHI

ENSEIGNEMENT DE LA PROTHESE AMOVIBLE PARTIELLE: INTERET DE LA CONCEPTION FABRICATION ASSISTEE PAR ORDINATEUR COMME OUTIL PEDAGOGIQUE

Thèse : Chirurgie Dentaire, Nice, 2016, n°42571620

Directeur de thèse : **Professeur Claire Lassauezay**

Mots-clés : Conception et fabrication assistées par ordinateur, Prothèse amovible
Partielle à Infrastructure Métallique, Enseignement.

Résumé:

La conception et la fabrication assistée par ordinateur (CFAO) connaissent un essor considérable et notamment en odontologie. Auparavant réservés à la prothèse conjointe, les logiciels englobent à présent l'implantologie et la prothèse adjointe.

Ces logiciels constituent un outil de premier choix pour les praticiens et sont en passe de révolutionner la pratique quotidienne de l'art dentaire.

Ils représentent aussi un outil pédagogique attractif et adapté aux nouvelles générations.

L'objectif de ce travail était de prouver l'apport des logiciels de CFAO dans l'enseignement de la prothèse amovible partielle.

Ce travail a permis de montrer comment intégrer à l'enseignement conventionnel de nouvelles méthodes d'enseignements basées sur des logiciels pédagogiques et professionnels.